

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-094889

(43)Date of publication of application : 09.04.1999

(51)Int.Cl.

G01R 29/08  
 G06F 17/50  
 H05K 9/00  
 // G06F 17/00  
 H05K 3/00

(21)Application number : 09-255496

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 19.09.1997

(72)Inventor : KISHIMOTO TAKESHI  
 OTSU SHINICHI  
 MUKAI MAKOTO

## (54) RADIATION ELECTROMAGNETIC WAVE ANALYZER FROM MULTILAYERED SUBSTRATE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To accurately calculate an electromagnetic wave strength of a radiation magnetic wave from a multilayered substrate containing the radiation magnetic wave from both layers, by modeling to quantitatively analyze the state that current flowing through a wave source and load flows to a power source layer and ground layer.

**SOLUTION:** A signal layer current distribution calculating means 1 obtains a current distribution of current flowing through a signal layer, i.e., pattern by a distributed constant line approximating method or transmission line analyzing method. A multilayered substrate current distribution calculating means 2 calculates a current distribution of the overall multilayered substrate by using a method of moment. An electromagnetic field strength calculating means 3 calculates an electromagnetic field strength of the electromagnetic wave radiated from the substrate, based on the distribution obtained by the means 2. In this case, the state that current flowing through a wave source and load flows to a power source layer and ground layer is modeled. The distribution of the overall substrate between the power source layer and the ground layer is calculated by the method of moment, and hence an accurately analyzed result is obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
 examiner's decision of rejection or application  
 converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-94889

(43)公開日 平成11年(1999) 4月9日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup> 識別記号

G 0 1 R 29/08

G 0 6 F 17/50

H 0 5 K 9/00

// G 0 6 F 17/00

H 0 5 K 3/00

F I

G 0 1 R 29/08

H 0 5 K 9/00

3/00

G 0 6 F 15/60

Z

Z

V

6 1 2

6 6 6 Z

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全 17 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平9-255496

(22)出願日 平成9年(1997) 9月19日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 岸本 武士

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 大津 信一

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 向井 誠

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 大菅 義之 (外1名)

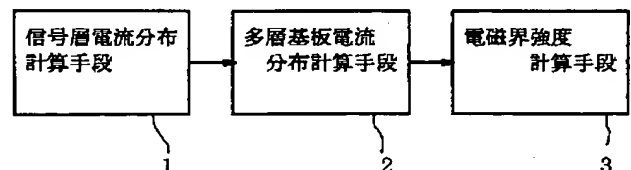
(54)【発明の名称】 多層基板からの放射電磁波解析装置

(57)【要約】

【課題】 波源および負荷を流れる電流が電源層とグラウンド層とに流れ込む状態を定量的に解析できるモデル化手法を確立し、多層基板から放射される電磁波の電磁界強度を正確に算出する。

【解決手段】 信号層を流れる電流の分布を分布定数線路近似法または伝送線路解析法によって求める手段1と、手段1によって求められた電流分布に基づいてモーメント法を用いて多層基板全体の電流分布を計算する手段2と、手段2によって計算された多層基板全体の電流分布に基づいて放射される電磁波の電磁界強度を計算する手段3とを備える。

本発明の原理構成ブロック図



(2)

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多層基板から放射される電磁波を解析する装置において、

信号層を流れる電流の電流分布を、分布定数線路近似法または伝送線路解析法によって求める信号層電流分布計算手段と、

該信号層電流分布計算手段によって求められた電流分布に基づいて、モーメント法を用いて多層基板全体の電流分布を計算する多層基板電流分布計算手段と、該計算された多層基板全体の電流分布に基づいて、多層基板から放射される電磁波の電磁界強度を計算する電磁界強度計算手段とを備えることを特徴とする多層基板からの放射電磁波解析装置。

【請求項2】 前記信号層電流分布計算手段が、信号層における波源の電流を、それぞれ電源層との間、およびグランド層との間に流れる電流によって構成される電流として求めることを特徴とする請求項1記載の多層基板からの放射電磁波解析装置。

【請求項3】 前記信号層電流分布計算手段が、信号層における波源の電流を2つに分割して、電源層と信号層、グランド層と信号層との間にそれぞれ電流源として挿入し、前記信号層を流れる電流の電流分布を計算することを特徴とする請求項2記載の多層基板からの放射電磁波解析装置。

【請求項4】 前記信号層電流分布計算手段が、前記信号層における波源の電流の分割のために、信号層におけるICドライバから出力される電流に該ICドライバに対するデューティ比に対応する矩形波を乗じて、前記それぞれの電流源を求めることを特徴とする請求項3記載の多層基板からの放射電磁波解析装置。

【請求項5】 前記信号層電流分布計算手段が、前記ICドライバに対するデューティ比に対応する矩形波を乗じて求められたそれぞれの電流源をフーリエ変換して、前記ICドライバのスイッチングの影響を周波数領域で求めることを特徴とする請求項4記載の多層基板からの放射電磁波解析装置。

【請求項6】 前記信号層電流分布計算手段が、前記多層基板内で前記分布定数線路近似法または伝送線路解析法の適用部分と、前記多層基板電流分布計算手段によるモーメント法の適用部分とがリンクされる接続端子に、該接続端子から負荷側を見込んだ入力インピーダンスと該接続端子に流れる電流に相当する電流源とを挿入することを特徴とする請求項1記載の多層基板からの放射電磁波解析装置。

【請求項7】 前記多層基板電流分布計算手段が、前記多層基板内でモーメント法を適用する部分に対する駆動電流源を内部インピーダンスが無限大に近い電圧源に変換して、前記多層基板全体の電流分布を計算することを特徴とする請求項1記載の多層基板からの放射電磁波解析装置。

2

【請求項8】 多層基板から放射される電磁波を解析する方法において、

信号層を流れる電流の電流分布を分布定数線路近似法、または伝送線路解析法によって求め、

該求められた信号層を流れる電流の電流分布に基づいて、モーメント法を用いて多層基板全体の電流分布を計算し、

該多層基板全体の電流分布に基づいて、多層基板から放射される電磁波の電磁界強度を計算することを特徴とする多層基板からの放射電磁波解析方法。

【請求項9】 多層基板から放射される電磁波を解析する計算機において使用される記憶媒体であって、

信号層を流れる電流の電流分布を分布定数線路近似法、または伝送線路解析法によって求めさせる機能と、

該求められた信号層を流れる電流の電流分布に基づいて、モーメント法によって多層基板全体の電流分布を計算させる機能と、

該多層基板全体の電流分布に基づいて、多層基板から放射される電磁波の電磁界強度を計算させる機能とを備えるプログラムを格納した計算機読出し可能記憶媒体。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は多層基板から放射される電磁波を解析する装置に関し、更に詳しくは信号層を流れる電流分布を分布定数線路近似法、または伝送線路解析法によって求め、その結果に基づいて多層基板全体の電流分布と、放射される電磁波の電磁界強度を計算する電磁波解析装置に関する。

【0002】電気回路装置に対する社会的規制として、一定のレベル以上の不要な電波やノイズを放射してはならないということがあり、各国の規格で厳しく規定されるようになってきた。

【0003】このような電波規格を満足させるために、シールド技術やフィルタ技術等のような種々の対策技術が用いられるが、これらの対策技術の採用に当たって、それらがどの程度放射電波を減少させられるかを定量的に算出できるようにするシミュレーション技術の開発が必要である。

【0004】このようなことを背景にして、本発明者らは、主としてモーメント法を使って、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するシミュレーション技術の発明を開示してきた。このシミュレーション技術を確認していくためには、電気回路装置の正確なモデルを構築していく必要がある。

【0005】

【従来の技術】物体の放射する電磁界強度は、物体各部に流れる電流を求めて、それを公知の電磁波放射の理論式に代入することでシミュレーションできる。この物体各部に流れる電流は、理論的には、マックスウェルの電磁界方程式を与えられた境界条件の下に解くことで得ら

(3)

3

れる。しかしながら任意の形状の物体を対象として、マックスウェルの電磁界方程式を任意の境界条件で解くことは困難である。

【0006】従って、現在の電磁界強度算出装置で用いられている電流の解法は、難易の程度はあるにせよ、すべて近似的なものである。現在、この近似的な解法として、微小ループアンテナ近似法と、分布定数線路近似法と、モーメント法という3種類のものが知られている。

【0007】微小ループアンテナ近似法は、波源回路と負荷回路との間を接続する配線をループアンテナとして扱い、ループ上の電流は一定のものと仮定して、これを集中定数回路の計算法で求める方法である。図24に、この微小ループアンテナ近似法の構成を図示する。

【0008】この微小ループアンテナ近似法による計算は、最も簡単であるが、ループの寸法が電磁波の波長に比べて無視できない条件では精度が極めて低下することから、現実には殆ど用いられていない。

【0009】一方、分布定数線路近似法は、1次元の構造物として近似できる物体に対して、分布定数線路の方程式を適用することで電流を求める方法である。計算は比較的簡単であり、計算時間及び時間容量も解析要素数にほぼ比例して増加するに止まり、線路の反射や共振等の現象も含めた解析ができることから、1次元の近似が成立する物体については、高速・高精度の解析ができる。図25に、この分布定数線路近似法の構成を図示する。

【0010】この分布定数線路近似法による計算は、1次元の構造物として近似できる物体については、高速・高精度の解析ができるものの、近似できない物体については解析できないという問題点がある。

【0011】一方、モーメント法は、マックスウェルの電磁波動方程式から導かれる積分方程式の解法の1つであり、3次元の任意形状物体を扱うことができる。具体的には、物体を小さな要素に分割して電流の計算を行うものである。

【0012】このモーメント法についての参考文献としては、「H. N. Wang, J. H. Richmond and M. C. Gilreath: "Sinusoidal reaction formulation for radiation and scattering from conducting surface" IEEE TRANSACTIONS ANTENNAS PROPAGATION vol. AP-23 1975」がある。

【0013】このモーメント法では、シミュレーション対象となる電気回路装置の構造をメッシュ化し、処理対象の周波数について、メッシュ化された要素間の相互インピーダンスや相互アドミッタンスを所定の計算処理によって求めて、その求めた相互インピーダンス等の構造情報で指定される波源とをモーメント法の連立方程式に代入し、それを解くことで各要素に流れる電流を求めることになる。

【0014】すなわち、金属対象物を扱うときには、金属部分を解析対象としてメッシュ化し、メッシュ化した

4

金属要素間の相互インピーダンス $Z_{ij}$ を求め、この相互インピーダンス $Z_{ij}$ と、波源 $V_i$ と、メッシュ化した金属要素に流れる電流 $I_j$ との間に成立するモーメント法の連立方程式

$$[Z_{ij}] [I_j] = [V_i]$$

を解くことで電流 $I_j$ を求めて、この結果から電磁界強度を算出する方法を採っている。「 $[ ]$ 」はマトリックスを表している。

【0015】ここで、メッシュに、抵抗やコンデンサやインダクタンスが存在するときには、それらは、そのメッシュの自己インピーダンス成分に加わることになる。ところで、電気回路装置では、高密度実装を実現する場合、電源層とグランド層と信号層とが絶縁物を介して層構造で配設される多層プリント板を実装することが多い。

【0016】図26はこのような多層プリント板(多層基板)の例の説明図である。同図(a)に示すように、この例では9つの層が積層されて、多層プリント板が構成されている。この9つの層は、上から順に第1の信号層50、ガラスエポキシ等で構成される第1のコア材51、厚み調整などのために絶縁材で構成される第1のプリプレグ52、電源層53、第2のコア材54、グランド層55、第2のプリプレグ56、第3のコア材57、および第2の信号層58の順で積層されている。

【0017】第1の信号層50、および第2の信号層58は、図26(b)に示すように銅箔等の金属で構成される回路パターンを実装するものであり、その上にチップ部品等の回路部品が配置されることにより、電子回路が実装される。この電子回路と電源層53やグランド層55との間には、ビアと呼ばれ、層間を電氣的に接続するための穴が用意されており、このビアを介して電子回路側に電源やアースが供給される。

【0018】このように多層プリント板の信号層には電子回路が実装され、この電子回路から強い電磁界強度を持つ電磁波が放射されることになる。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】このように従来では、多層基板から放射される電磁波の解析装置においては、電子回路の回路パターンが主要な電磁波の放射源として考えられ、解析が行われていた。しかしながら実際には、パターンからの放射に加えて、電源層およびグランド層からの電磁波の放射が無視できないことが明らかになってきた。このため電源層、およびグランド層の影響を考慮した放射電磁波の解析が不可欠となっている。

【0020】このように電源層やグランド層からの電磁波の放射が無視できないにもかかわらず、従来は電源層とグランド層の適切なモデルが存在せず、放射される電磁波の正しい解析を行うことができないという問題点があった。また例えばCMOSドライバICなどを使用した場合に、電源および負荷を流れる電流が、どのような

(4)

5

状態で電源層やグランド層に流れ込むかを求める方法がなく、電磁波を放射する電流の電流分布を正しく求めることができないという問題点もあった。

【0021】本発明は、波源および負荷を流れる電流が電源層、グランド層に流れ込む状態を定量的に解析できるモデル化手法を確立することにより、電源層、グランド層から放射される電磁波を含めて、多層基板から放射される電磁波の電磁界強度を正確に算出できる電磁波解析装置を提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理構成ブロック図である。同図は、多層基板から放射される電磁波を解析する、多層基板からの放射電磁波解析装置の原理構成ブロック図である。

【0023】図1において信号層電流分布計算手段1は信号層、すなわちパターンを流れる電流の電流分布を、分布定数線路近似法、または伝送線路解析法によって求めるものである。

【0024】多層基板電流分布計算手段2は、信号層電流分布計算手段1によって求められた電流分布に基づいて、モーメント法を用いて多層基板全体の電流分布を計算するものである。

【0025】電磁界強度計算手段3、多層基板電流分布計算手段2によって求められた電流分布に基づいて、多層基板から放射される電磁波の電磁界強度を計算するものである。

【0026】本発明において信号層を流れる電流の電流分布を分布定数線路近似法によって求める場合には、まず波源の電流が求められ、波源の電流が例えばCMOS ICドライバからの電流である場合には、ICドライバのデューティ比に対応する2つの矩形波が求められた波源の電流に乘算されて、波源の電流が2つに分割され、それぞれ電源層と信号層、グランド層と信号層との間に電流源として挿入される。

【0027】信号層電流分布計算手段1によって求められた分布定数線路上の電流分布に基づいて、多層基板全体の電流分布、すなわち電源層とグランド層の間を含む多層基板全体の電流分布がモーメント法によって計算される。

【0028】以上のように本発明においては、波源および負荷を流れる電流が電源層やグランド層に流れ込む状態を定量的に解析できるモデル化が行われ、パターンを流れる電流分布が分布定数線路近似法によって求められた後に、電源層とグランド層の間を含む多層基板全体の解析がモーメント法によって行われる。これによって解析規模が現実的となり、尚且つ高精度な結果を得ることができる。

【0029】

【発明の実施の形態】図2は本発明が対象とする多層基板モデルの全体図である。同図において図26の電源層

6

53に相当するV<sub>CC</sub>平面10と、グランド層55に相当するGND平面11との間には、第2のコア材54に相当する誘電体12が挿入されている。また例えば第1の信号層50に相当する信号パターン上の電流は、分布定数線路13を流れる電流として表されている。

【0030】また電源層とグランド層の間のモデル化形式としては、本発明者等がすでに特許出願中のモデル化形式である金属パッチとコンデンサ負荷による3次元格子モデル、または金属パッチと誘電体パッチによるモデルなどが用いられる。これらのモデルについては後述する。

【0031】ここで信号層の電流を分布定数線路モデルを用いて求めることができる理由について説明する。一般に信号層の電流はリターン時に平面上を分布して流れるが、リターン時の線路も、電気映像法を用いることによって1本の導線によって近似することが可能となり、その結果、信号層を流れる電流を分布定数線路近似によって求めることができる。

【0032】図2において分布定数線路13の入力端の電流、すなわち波源の電流 $i_3$ は、電源層からの電流を示す電流源 $i_1$ と、グランド層からの電流を表す電流源 $i_2$ とに分割される。図3はこの分割理由の説明図である。図3において分布定数線路13の入力電圧はCMOS IC15の出力電圧として与えられ、その出力電圧がHレベルのときに分布定数線路13に入力される電流は $i_1$ 、出力がLレベルのときに分布定数線路13に入力される電流は $i_2$ となる。なお図2において、信号パターンとグランド層(GND平面)との間に流れる電流は電流源 $i_2$ の方向と逆方向になるが、ここでは電流源 $i_2$ の方向を図2のように仮定している。

【0033】図2の全体モデルにおける電磁波解析の方式について図4～図6を用いて説明する。図4は分布定数線路近似法を用いる波源の電流 $i_3$ の求め方と、電流 $i_3$ の2つの電流源 $i_1$ および $i_2$ への分割の説明図である。同図においてまず分布定数回路解析によって波源を流れる電流 $i_3$ が求められる。この時分布定数線路の出力端(負荷端)におけるグランド層との間の負荷インピーダンス $Z_L$ はモーメント法によって計算される。その後、ICドライバに対するデューティ比に対応する矩形波を波源の電流 $i_3$ に乘算することによって、2つの電流源 $i_1$ と $i_2$ の波形が求められる。

【0034】これに対して、パターンを流れる電流をSPICEなどの回路解析ツールを用いて求める場合には、 $i_1$ および $i_2$ が直接に求められ、波源の電流 $i_3$ はそれらの和として求められる。このような回路解析ツールは伝送線路解析法によって電流を求めるものである。

【0035】図5はパターン上の電流分布計算の説明図である。同図においては、図4で求められた波源の電流 $i_3$ を電流源として、分布定数線路13上の電流分布、

(5)

7

すなわちパターン上の電流分布が計算され、分布定数線路13の出力端における電流 $i_4$ も求められる。

【0036】図6は多層基板全体の電流分布、すなわち電源層とグランド層の間を含む多層基板全体の電流分布の計算法の説明図である。同図においては、図5で求められた電流分布が多層基板の内部にあらかじめ存在する電流として扱われ、多層基板の他の部分に流れる電流がモーメント法によって計算される。

【0037】図7および図8は、図4～図6に対応する本発明における全体処理フローチャートである。これらの図の各ステップにおける処理の詳細については、必要に応じて後述する。図7において信号パターン上の電子回路が線形回路の場合には、分布定数線路解析としてステップS1～S3の処理が行われ、非線形回路の場合にはステップS4の処理が行われる。なおステップS4の処理は線形回路の場合でも可能である。

【0038】ステップS1において、分布定数回路理論を用いて波源の電流、すなわち伝送線路への出力電流 $i_3$ の高調波成分 $I_3(f_0)$ 、 $I_3(2f_0)$ 、 $\dots$ 、 $I_3(nf_0)$ が求められる。ここで $f_0$ は電流 $i_3$ の基本波の周波数である。続いてステップS2でこれらの高調波成分が逆にフーリエ変換されて電流 $i_3$ が求められ、ステップS3で $i_3$ にICドライバのオン/オフデューティ比によって決まる矩形波 $D_1$ および $D_2$ が乗算されて、2つの電流源の電流 $i_1$ および $i_2$ が求められる。

【0039】一方ステップS4では、信号パターンとしての電子回路が線形であっても非線形であっても、例えば回路解析ツールとしてSPICEが用いられ、電源からドライバへの電流 $i_1$ およびグランドへの電流 $i_2$ が直接に求められ、それらの和として波源の電流 $i_3$ が求められる。

【0040】ステップS1～S3、またはS4の処理の後に、ステップS5で3つの電流 $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_3$ のフーリエ変換が行われ、それぞれの電流の高調波成分が求められる。ここで線形回路の場合には、波源の電流 $i_3$ に対する高調波成分はすでにステップS1で求められている。

\*

$$I_s(kf_0) = V(kf_0) / Z_{ins}, k = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{ここで } Z_{ins} = Z_c \frac{Z_L + j Z_c \tan \beta(kf_0) \ell}{Z_c + j Z_L \tan \beta(kf_0) \ell}$$

【0047】求められた波源の電流 $i_3$ の各高調波成分がフーリエ逆変換されて、電流 $i_3$ が求められる。図10は波源の電流 $i_3$ の2つの電流源 $i_1$ 、および $i_2$ への分割方法の説明図である。同図に示すように、波源の電流 $i_3$ の波形に対してICドライバのデューティ比に対応する矩形波 $D_1$ 、および $D_2$ が乗算され、電源からドライバに流れる電流 $i_1$ と、グランド側に流れる電流 $i_2$ が求められる。なおここではICドライバに対する

8

\*【0041】図8においては、図7のステップS5で求められた各高調波成分に対して電流の計算と、放射される電磁界強度の計算が行われる。ここでは高調波の次数が $n$ に達するまで電流の計算が行われ、その後放射される電磁界強度の計算が行われる。

【0042】すなわちステップS6で高調波の次数が $n$ 以下であると判定されると、ステップS7で分布定数線路の負荷端、すなわち出力端 $b-b'$ から電源層とグランド層の間を見た時の入力インピーダンス $Z_{in2}$ がモーメント法によって求められ、ステップS8で分布定数線路全体の入力インピーダンス $Z_{in1}$ が求められ、ステップS9で分布定数線路の入力端 $a-a'$ と負荷端 $b-b'$ の間の線路上の電流分布が求められ、ステップS10で電流 $i_1$ 、 $i_2$ 、および分布定数線路上の電流分布を多層基板内にすでに存在する電流源として、電源層およびグランド層を含めた多層基板全体に流れる電流がモーメント法によって計算される。

【0043】計算対象の高調波の次数( $n$ まで)に対してステップS7～S10の処理が終了すると、ステップS6で高調波の次数が $n$ を越えたと判定され、ステップS11で指定された観測点や周波数に対して電磁界強度、すなわち電界強度と磁界強度が計算される。

【0044】図7および図8の各ステップの処理について以下でさらに説明する。図9はステップS1、およびS2における波源の電流 $i_3$ の求め方の説明図である。同図においてドライバや負荷が線形の場合には、分布定数回路理論によって波源の各高調波電流を求めることができる。

【0045】図9においてまず電源電圧 $v(t)$ がフーリエ変換され、高調波成分 $V(f_0)$ 、 $V(2f_0)$ 、 $\dots$ 、 $V(nf_0)$ が求められる。これらの各高調波電圧成分に対して、分布定数線路13の始点から見たインピーダンス $Z_{ins}$ を用いて、高調波電流分布 $I_3(kf_0)$ が次式によって求められる。なお $v(t)$ は図3で説明したCMOS IC15の出力波形である。

【0046】

【数1】

デューティ比をオン0.4、オフ0.6としているが、このデューティ比は当然任意に決定することができる。

【0048】このようにして求められた電流 $i_1$ 、および $i_2$ は、図7のステップS5で説明したようにフーリエ変換されて、それぞれの電流の高調波成分が求められる。図7の処理が終了すると、図8のステップS7～S10において電流の計算が行われるが、これらの処理に先立ってまず図11に示すように分布定数線路13の入

(6)

9

力端子  $a-a'$ 、負荷端子  $b-b'$  の部分を入力インピーダンスと電流源に置き換える処理が行われる。この図において電流源  $i_3$  は波源の電流、 $i_4$  は伝送線路の出力端の出力電流、すなわち負荷への電流、 $Z_{in1}$  は分布定数線路 13 全体の入力インピーダンス、 $Z_{in2}$  は分布定数線路の出力端から負荷側を見たインピーダンスである。入力インピーダンスと電流源を流れる電流はそれぞれ互いに打ち消されるために、放射電磁波に対する寄与は無視することができ、端子  $a-a'$  では電流  $i_3$  が、また  $b-b'$  では  $i_4$  がそれぞれ連続的に流れている状態と等価になる。これらの入力インピーダンスなどを以下のようにして求める。

【0049】図12は負荷端での入力インピーダンス  $Z_{in2}$  の求め方の説明図である。同図において、分布定数線路 13 の出力端子  $b-b'$  から負荷側を見た入力インピーダンス  $Z_{in2}$  は、任意の電圧  $V_a$  を端子  $b-b'$  に加えてモーメント法によって電流  $I_a$  を求めることにより、次式によって計算される。

【0050】 $Z_{in2} = V_a / I_a$

$$V_x = V_0 \frac{Z_{in2} \cos \beta(kf_0)(\ell - x) + j Z_c \sin \beta(kf_0)(\ell - x)}{Z_{in2} \cos \beta(kf_0)\ell + j Z_c \sin \beta(kf_0)\ell}$$

$$Z_{inx} = Z_c \frac{Z_{in2} + j Z_c \tan \beta(kf_0)(\ell - x)}{Z_c + j Z_{in2} \tan \beta(kf_0)(\ell - x)}$$

$$I_x = \frac{V_x}{Z_{inx}}$$

【0054】続いて図8のステップS10で多層基板全体の電流分布が計算される。図15はこの電流分布の計算法の説明図である。同図に示すように  $I_1$ 、 $I_2$ 、および分布定数線路上の電流分布を多層基板内にすでに存在する電流源として、モーメント法によって多層基板内の電流分布が、電源層やグラウンド層に流れる電流を含めて計算される。

【0055】このようにモーメント法を用いて電流を求める場合には、一般に電流源を電圧源に変換して電流分布が求められる。例えば図11で説明した電流源  $i_3$ 、および  $i_4$  についても、電圧源への変換が行われる。図16はこの変換の説明図である。同図に示すように、例えば電流源  $i_3$  は接続されているワイヤの自己インピーダンスより十分に大きな値の抵抗  $R$  を用いて、次式によって与えられる電圧源  $v_3$  に変換される。なお  $R$  の値としては、実験によれば  $1 \sim 100 M\Omega$  の範囲であれば差し支えないことが明らかとなっている。

【0056】 $v_3 = R \cdot i_3$

最後に図8のステップS11において電磁界の放射強度が計算されて、処理を終了する。

【0057】続いて図2で説明した電源層とグラウンド層の間のモデル化について、図17～図19を用いて説明する。図17は多層基板の電源層、およびグラウンド層のメッシュ分割の説明図である。同図に示すように、多層

10

\* 図13は分布定数線路 13 全体のインピーダンス、すなわち端子  $a-a'$  から見た入力インピーダンスの計算法の説明図である。同図に示すように図12で求められた負荷端の入力インピーダンス  $Z_{in2}$  を用いて  $Z_{in1}$  は次式によって計算される。

【0051】

【数2】

$$Z_{in1} = Z_c \frac{Z_{in2} + j Z_c \tan \beta(kf_0)\ell}{Z_c + j Z_{in2} \tan \beta(kf_0)\ell}$$

【0052】以上によって図8のステップS8までの処理が終了し、続いてステップS9の処理が行われる。図14はこの分布定数線路上の電流分布の求め方の説明図である。同図において、分布定数線路の入力端子  $a-a'$  に電流源  $i_3$  が接続され、まず入力端子から  $x$  の距離における電圧  $V_x$  が計算され、その値を用いてその点における電流値  $I_x$  が次式によって計算される。

【0053】

【数3】

基板の電源層 21 は長方形の金属パッチ 23 に分割され、またグラウンド層 22 は同じ長方形の金属パッチ 24 に分割される。

【0058】図18は電源層とグラウンド層との間に設けられる導電性パッチの説明図である。まず(a)に示すように電源層 21 を分割するメッシュの区画単位線 25 毎に、それらの区画単位線 25 からグラウンド層 22 に向けて互いに接続されない形式で、長方形の導電性パッチ 26 が直立して設けられる。また(b)に示すようにグラウンド層 22 を分割するメッシュの区画単位線毎に、それらの区画単位線 27 から電源層 21 に向けて互いに接続されない形式で、また対となる電源層 21 の導電性パッチ 26 とわずかな隙間を持って長方形の導電性パッチ 28 が直立して設けられる。

【0059】図19は誘電体モデルの説明図である。同図(a)では、図18で説明した2つの導電性パッチ 26 と 28 との間にコンデンサ 29 が接続される。このコンデンサ 29 の容量は、電源層 21 とグラウンド層 22 との間に挿入される誘電体が形成するコンデンサの容量を  $C$ 、対となる導電性パッチ 26 と 28 との組の数を  $N$  とする時、 $C/N$  で決定される。

【0060】また電源層 21 とグラウンド層 22 との間に挿入される誘電体の誘電体損を考慮する場合には、図19(b)に示されるようにコンデンサ 29 に対して抵抗  $R$



(7)

11

とインダクタンス $L$ とが直列に接続されたモデルが用いられる。

【0061】以上のように電源層とグラウンド層とをそれぞれメッシュに分割し、更に電源層とグラウンド層との間を導電性パッチ26や28を用いて表す理由は、長方形状の金属パッチに流れる電流の向きが長方形の辺と平行になり、誘電体の内部の電気力線の方向が導電性パッチ26および28に流れる電流の方向と一致するためである。すなわち電源層21からグラウンド層22に向かう電流の向きが電気力線の方向、すなわち誘電体を流れる変位電流の向きと一致するようになるためである。

【0062】図20、および図21は本発明による電界強度算出結果の一例を示す。図20は本発明を適用しない場合の結果である。同図は多層基板から距離が3mで、高さが1mの点において、アンテナを360度回転させた時の電界の最大値のスペクトラムを示し、実測結果の◇印と計算結果の棒グラフの高さにかなり差があることが分かる。

【0063】図21は本発明を適用した場合の計算結果を示す。図20と比較すると、実測値と計算値がよく一致していることが分かる。最後に本発明の電磁波解析装置を実現するコンピュータシステムの構成と、そのようなコンピュータシステムにおける電磁波解析のためのプログラムの記憶媒体からのローディングについて、図22および図23を用いて説明する。

【0064】図22は電磁波解析装置を実現するためのコンピュータシステムの構成ブロック図である。同図においてコンピュータシステムは、全体を制御する中央処理装置(CPU)31、多層基板の構造データなどが格納されるメモリ32、本発明の電磁波解析方法を実現するためのプログラムや、必要に応じてSPICEなどの回路解析プログラムが、CPU31による実行のために一時的に格納される主記憶33、多層基板構造データなどの入出力のための入出力装置34、例えばネットワークを介して入出力される多層基板構造データなどを送受信するための通信制御装置35から構成されている。

【0065】図23は電磁波解析のためのプログラムのコンピュータへのローディングの説明図である。同図において、コンピュータ40は本体41とメモリ42とから構成されており、本体41に対しては可搬型記憶媒体44からプログラムなどをロードすることも、またプログラム提供者側からネットワーク43を介してプログラムなどをロードすることも可能である。

【0066】本発明の特許請求の範囲の請求項9に記載されているプログラムや、図7、図8のフローチャートに示されているプログラムなどは、例えばメモリ42に格納され、そのプログラムが本体41によって実行される。ここでメモリ42としては、例えばランダムアクセスメモリ(RAM)、またはハードディスクなどが用いられる。

12

【0067】また電磁波解析のためのプログラムなどは、可搬型記憶媒体44に記憶され、コンピュータ40にそのプログラムをロードすることによって電磁波解析を行うことも可能である。この可搬型記憶媒体44としてはメモリカード、フロッピーディスク、CD-ROM(コンパクトディスクリードオンリメモリ)、光ディスク、光磁気ディスクなど市販され、流通可能な任意の記憶媒体を用いることができる。更に電磁波解析のためのプログラムなどは、プログラム提供者側からネットワーク43を介してコンピュータ40側に送られ、そのプログラムがロードされることによって電磁波解析を実現することも可能である。

【0068】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によればパターンの電流分布を分布定数線路近似法を用いて求め、その結果を電源層とグラウンド層の間のモデルを含む多層基板全体とモーメント法によって結合することにより、パターン部分を計算要素に細かく分割することなく計算を行うことができ、解析規模がより現実的となり、電磁波解析のための計算を高速、かつ高精度に行うことが可能となり、電波規制に対する対策が容易となり、電気回路装置の性能向上に寄与するところが大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理構成ブロック図である。

【図2】本発明が対象とする多層基板のモデルの全体図である。

【図3】図2のモデルにおける波源の電流 $i_3$ の分割の説明図である。

【図4】図2のモデルにおける波源の電流 $i_3$ の求め方の説明図である。

【図5】図2のモデルにおけるパターン上の電流分布の計算方法の説明図である。

【図6】図2のモデルにおける多層基板全体の電流分布の計算方法の説明図である。

【図7】電磁波解析の全体処理フローチャート(その1)である。

【図8】電磁波解析の全体処理フローチャート(その2)である。

【図9】分布定数線路上における波源の電流 $i_3$ の計算方法を説明する図である。

【図10】波源の電流 $i_3$ の2つの電流源への分割方法を説明する図である。

【図11】分布定数線路の入力端子と負荷端子における電流源と入力インピーダンスの挿入の説明図である。

【図12】分布定数線路の負荷端子における入力インピーダンスの計算方法の説明図である。

【図13】分布定数線路の入力端子における入力インピーダンスの計算方法の説明図である。

【図14】分布定数線路上の電流分布の計算方法の説明

(8)

13

図である。

【図15】多層基板全体の電流分布の計算方法の説明図である。

【図16】モーメント法を使用する場合の電流源の電圧源への変換方法の説明図である。

【図17】電源層とグランド層のメッシュ分割を説明する図である。

【図18】電源層とグランド層との間に設けられる導電性パッチを説明する図である。

【図19】電源層とグランド層の間の誘電体に対するモデルの説明図である。

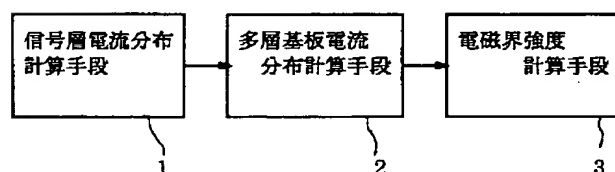
【図20】本発明を適用しない場合の電界スペクトラムの計算結果を示す図である。

【図21】本発明を適用した場合の電界スペクトラムの計算結果を示す図である。

【図22】本発明の電磁波解析装置を実現するコンピュータシステムの構成を示すブロック図である。

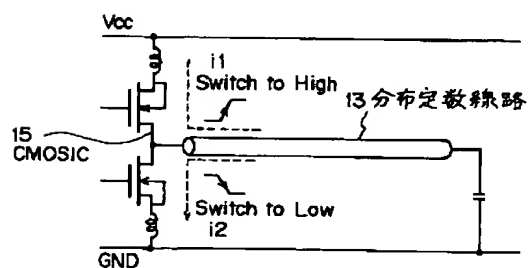
【図1】

## 本発明の原理構成ブロック図



【図3】

図2のモデルにおける  
波源の電流 I3 の分割の説明図



14

【図23】電磁波解析プログラムのコンピュータシステムへのローディングを説明する図である。

【図24】微小ループアンテナ近似法の説明図である。

【図25】分布定数線路近似法の説明図である。

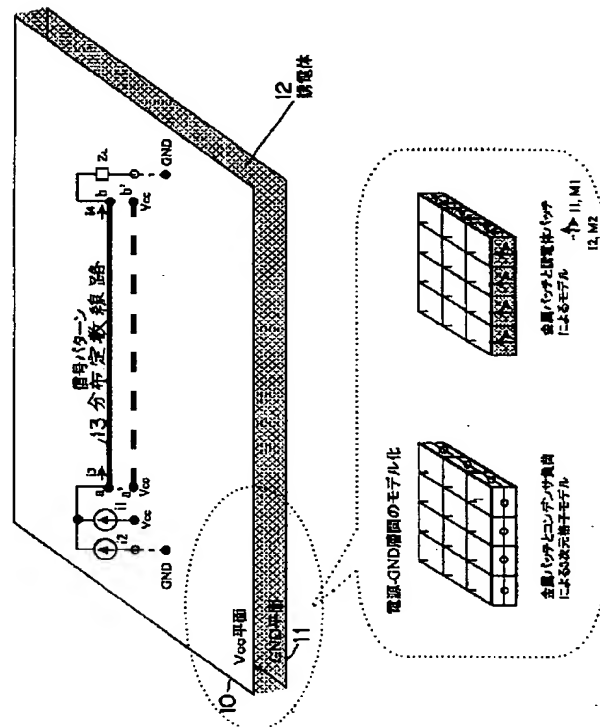
【図26】多層基板の構造の例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 信号層電流分布計算手段
- 2 多層基板電流分布計算手段
- 3 電磁界強度計算手段
- 10 VCC平面
- 11 グランド平面
- 13 分布定数線路
- 15 CMOS IC
- 21 電源層
- 22 グランド層
- 23, 24, 26, 28 導電性パッチ
- 29 コンデンサ

【図2】

本発明が対象とする多層基板のモデルの全体図



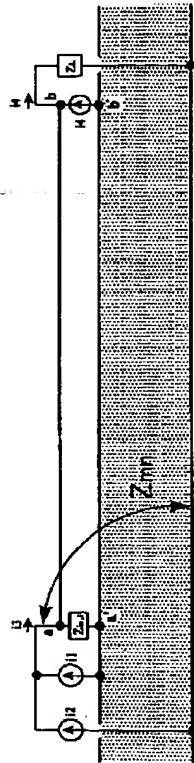
(9)

【図4】

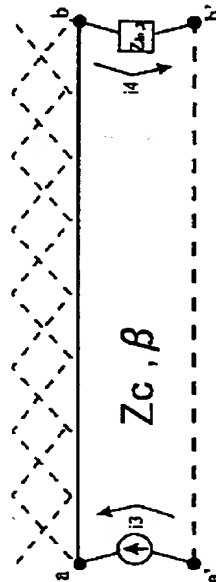
【図5】

【図6】

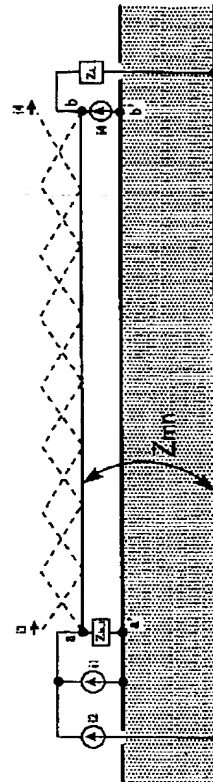
図2のモデルにおける波源の電流  $I_3$  の求め方の説明図 図2のモデルにおけるパターン上の電流分布の計算方法の説明図 図2のモデルにおける多層基板全体の電流分布の計算方法の説明図



【図10】



【図12】

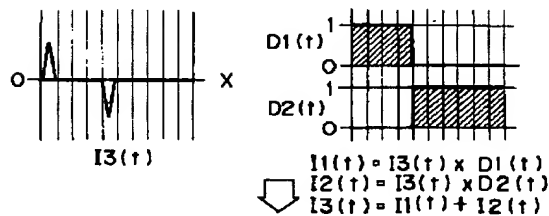


波源の電流  $I_3$  の

2つの電流源への分割方法を説明する図

分布定数線路の負荷端子における

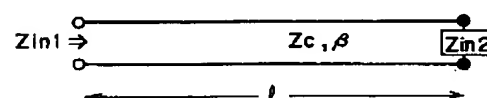
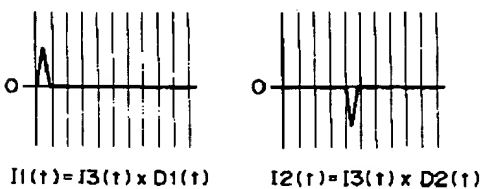
入力インピーダンスの計算方法の説明図



【図13】

分布定数線路の入力端子における

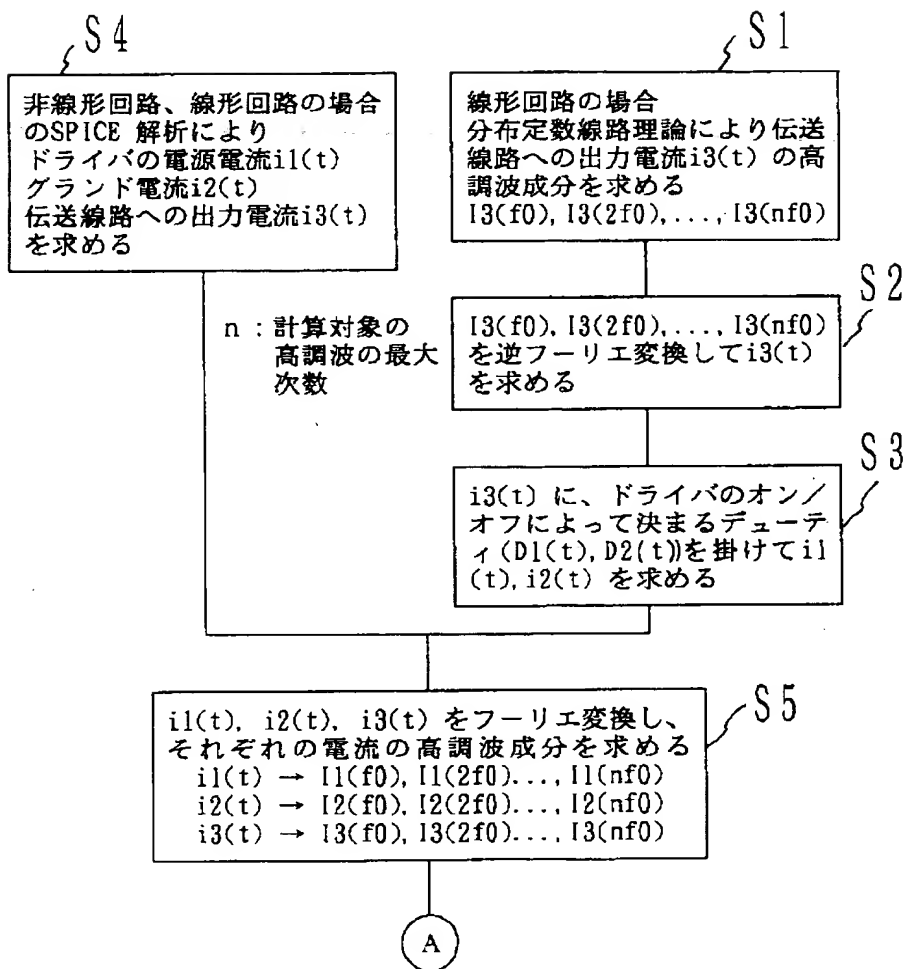
入力インピーダンスの計算方法の説明図



(10)

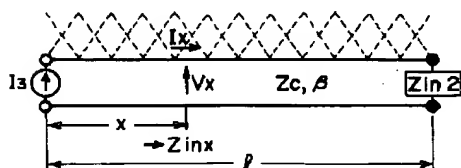
【図7】

## 電磁波解析の全体処理フローチャート（その1）



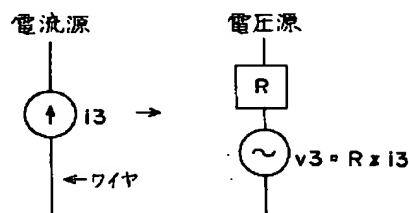
【図14】

分布定数線路上の  
電流分布の計算方法の説明図



【図16】

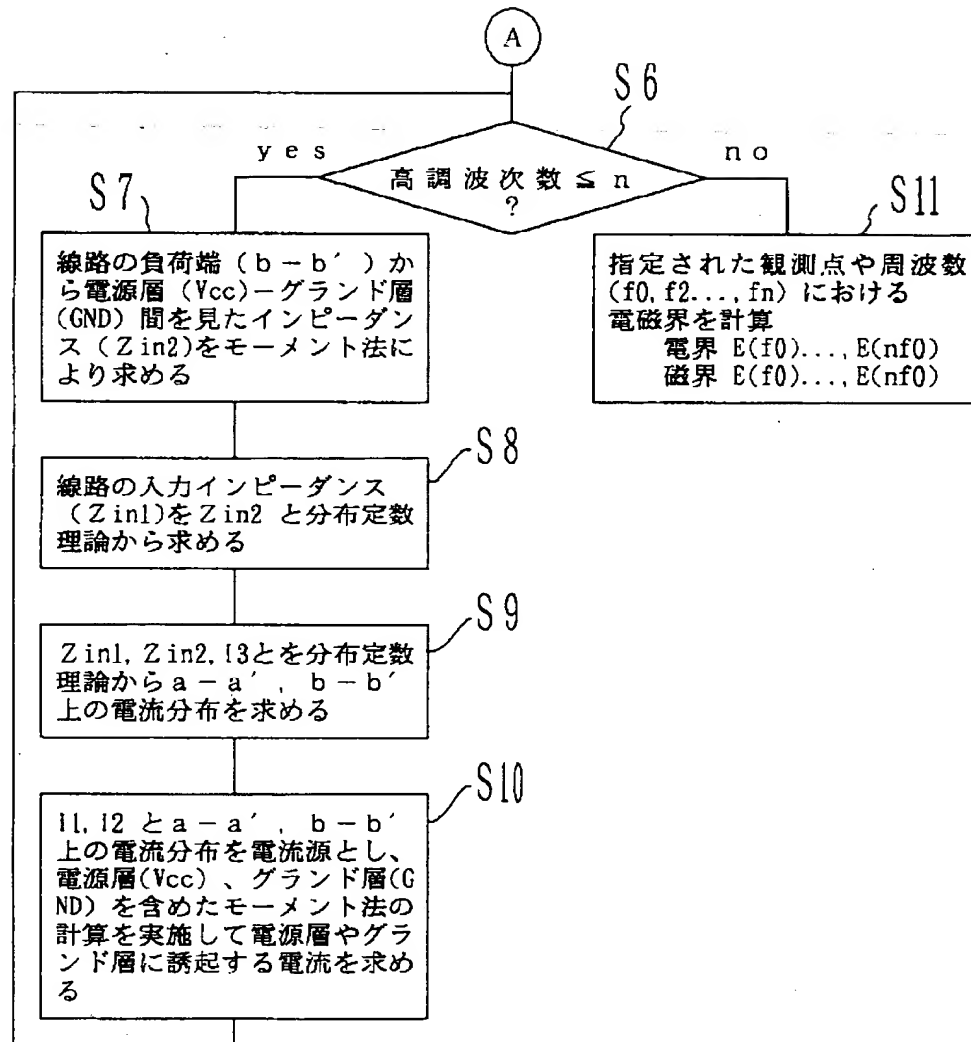
モーメント法を使用する場合の  
電流源の電圧源への変換方法の説明図



(11)

【図8】

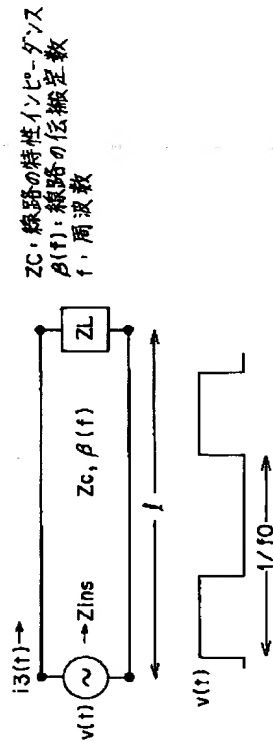
## 電磁波解析の全体処理フローチャート（その2）



(12)

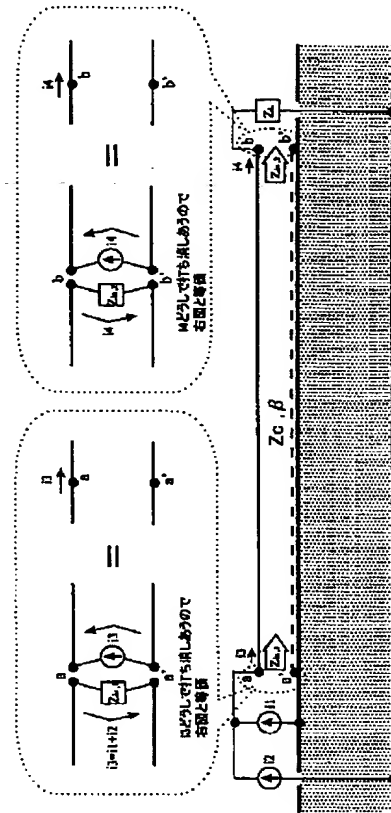
【図9】

分布定数線路における  
波源の電流  $i_3$  の計算方法を説明する図



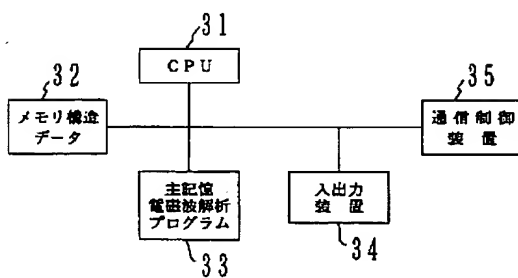
【図11】

分布定数線路の入力端子と負荷端子における  
電流源と入力インピーダンスの挿入の説明図



【図22】

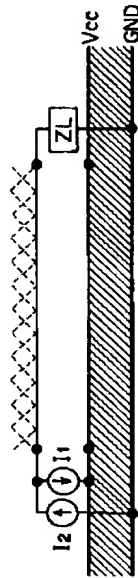
本発明の電磁波解析装置を実現する  
コンピュータシステムの構成を示すブロック図



(13)

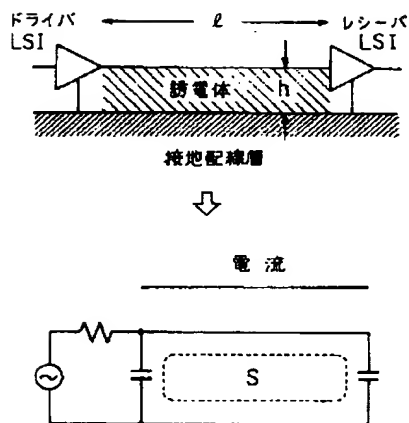
【図15】

多層基板全体の  
電流分布の計算方法の説明図



【図24】

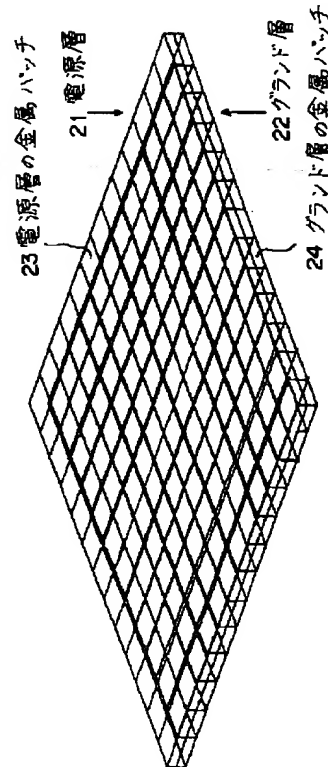
微小ループアンテナ近似法の説明図



電波放射量  $\propto$  周波数<sup>2</sup> × 電流 × ループ面積  
(-様)

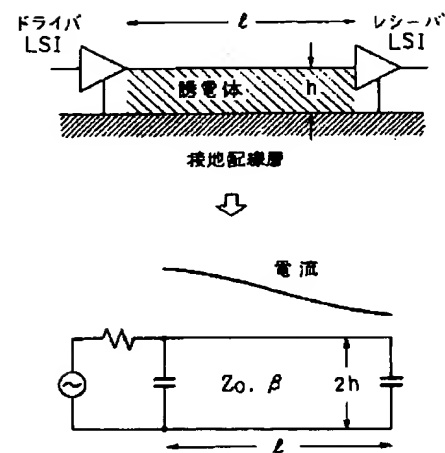
【図17】

電源層とグラウンド層のメッシュ分割を説明する図



【図25】

分布定数線路近似法の説明図

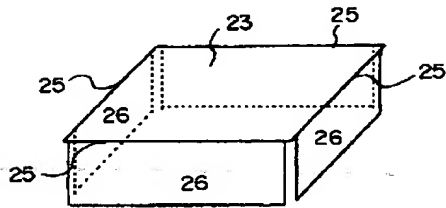


電波放射量 - 電流分布依存

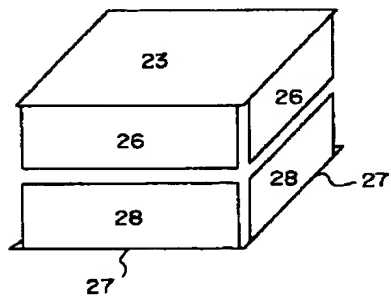
(14)

【図18】

電源層とグランド層との間に  
設けられる導電性パッチを説明する図



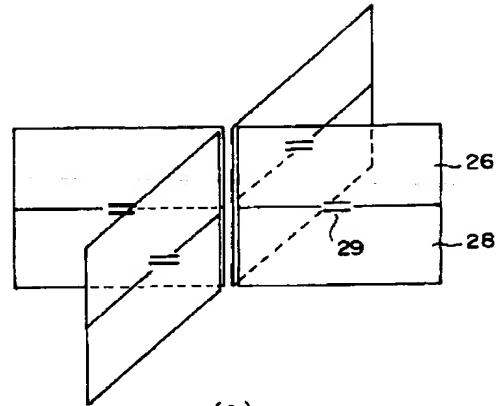
(a)



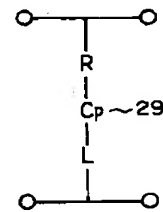
(b)

【図19】

電源層とグランド層の間の  
誘電体に対するモデルの説明図



(a)



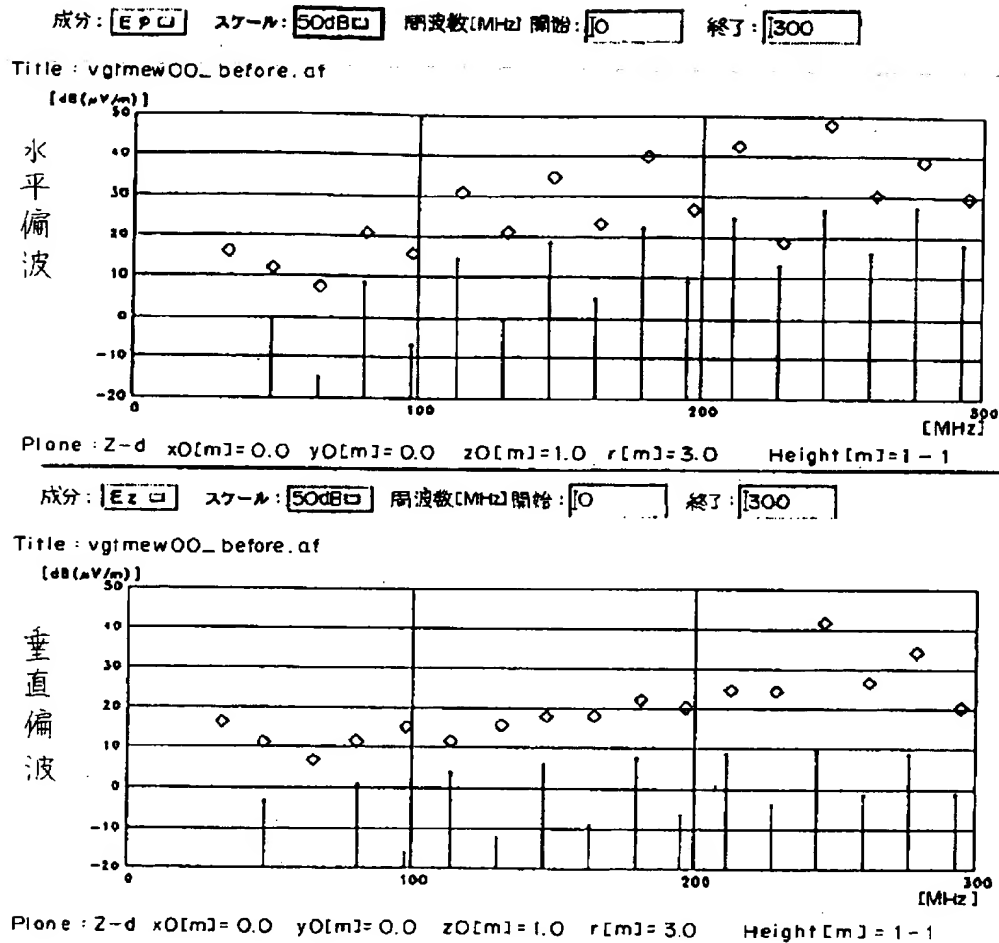
(b)



(15)

【図20】

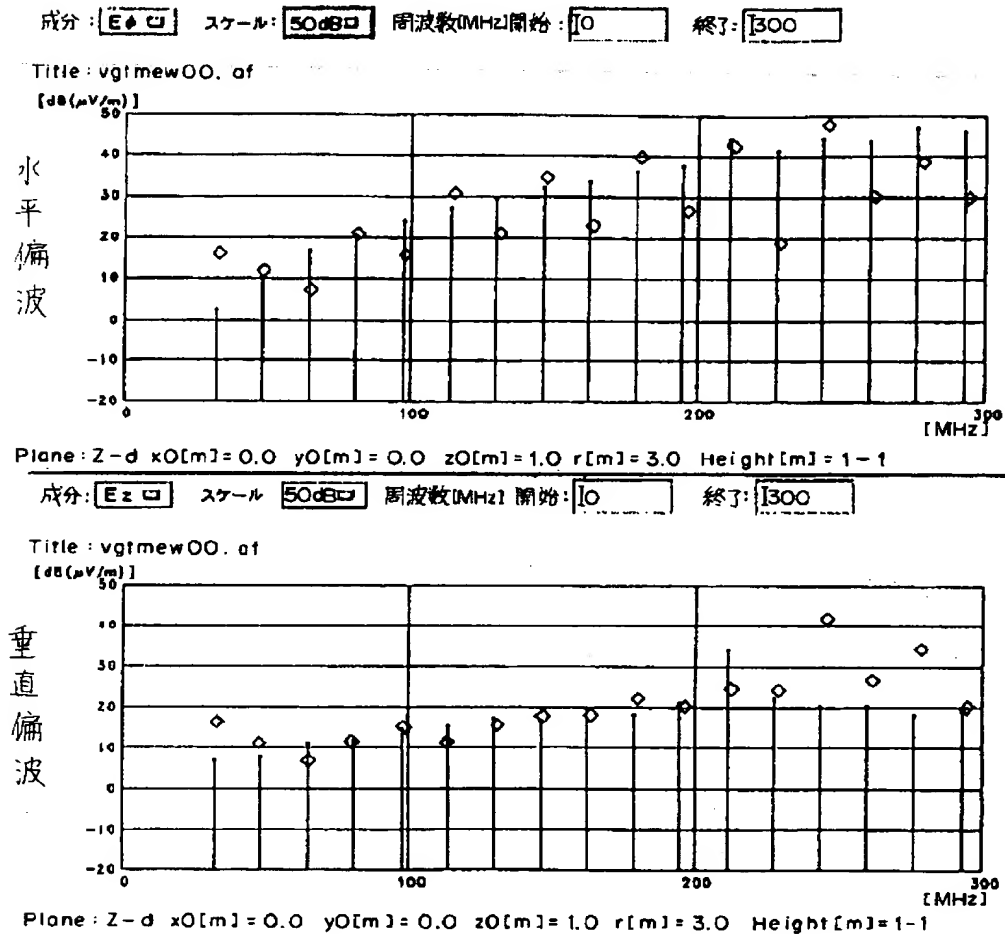
本発明を適用しない場合の  
電界スペクトラムの計算結果を示す図



(16)

【図21】

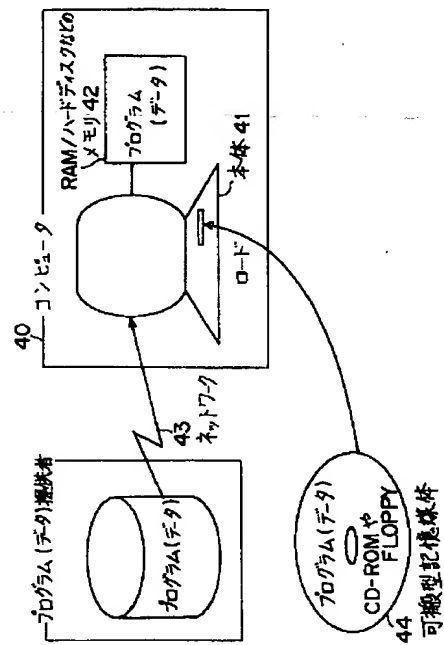
本発明を適用した場合の  
電界スペクトラムの計算結果を示す図



(17)

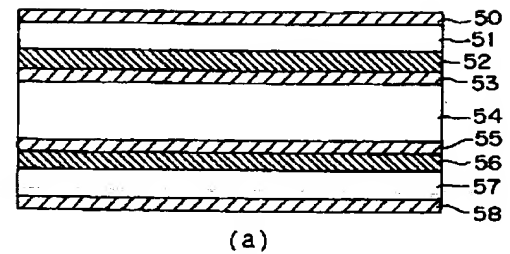
【図23】

電磁波解析プログラムの  
コンピュータシステムのローディングを説明する図

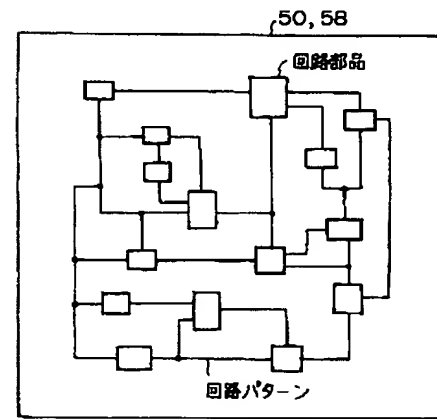


【図26】

多層基板の構造の例を示す図



(a)



(b)

フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

F I  
G 0 6 F 15/20

D

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**